

16.12.2004

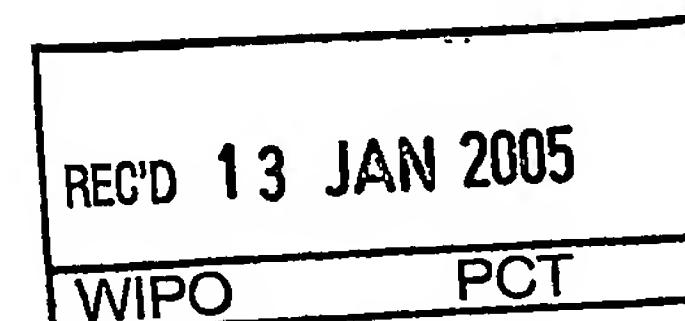
日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年12月17日

出願番号
Application Number: 特願2003-419336
[ST. 10/C]: [JP2003-419336]



出願人
Applicant(s): 昭和電工株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年12月6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 1034674
【提出日】 平成15年12月17日
【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
【発明者】
【住所又は居所】 千葉県市原市八幡海岸通5-1 昭和電工エイチ・ディー株式会社内
【氏名】 亀井 宏二
【特許出願人】
【識別番号】 000002004
【氏名又は名称】 昭和電工株式会社
【代理人】
【識別番号】 100099759
【弁理士】
【氏名又は名称】 青木 篤
【電話番号】 03-5470-1900
【選任した代理人】
【識別番号】 100077517
【弁理士】
【氏名又は名称】 石田 敬
【選任した代理人】
【識別番号】 100087413
【弁理士】
【氏名又は名称】 古賀 哲次
【選任した代理人】
【識別番号】 100102990
【弁理士】
【氏名又は名称】 小林 良博
【選任した代理人】
【識別番号】 100082898
【弁理士】
【氏名又は名称】 西山 雅也
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 209382
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0200971

【書類名】特許請求の範囲**【請求項1】**

基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型半導体層、発光層およびp型半導体層をこの順序で含み、負極および正極がそれぞれn型半導体層およびp型半導体層に設けられている発光素子において、該負極が少なくともn型半導体層と接するコンタクトメタル層およびボンディングパッド層を含み、該コンタクトメタル層がCr/A1合金であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】

Cr/A1合金中のCrの比率が10～90質量%であることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】

Cr/A1合金中のCrの比率が20～80質量%であることを特徴とする請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】

Cr/A1合金中のCrの比率が40～60質量%であることを特徴とする請求項3に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】

コンタクトメタル層の厚さが1～500nmであることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項6】

コンタクトメタル層の厚さが10nm以上であることを特徴とする請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項7】

ボンディングパッド層がAu、Al、NiおよびCuからなる群から選ばれた金属または該金属を含んだ合金であることを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項8】

ボンディングパッド層の厚さが100～1000nmであることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項9】

ボンディングパッド層の厚さが200～500nmであることを特徴とする請求項8に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項10】

コンタクトメタル層とボンディングパッド層の間にTiからなる接着層が設けられていることを特徴とする請求項1～9のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項11】

接着層の厚さが1～100nmであることを特徴とする請求項10に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項12】

接着層の厚さが10nm以上であることを特徴とする請求項11に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項13】

窒化ガリウム系化合物半導体発光素子がフリップチップ型であることを特徴とする請求項1～12のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項14】

窒化ガリウム系化合物半導体素子用の負極であって、少なくともn型半導体層と接するコンタクトメタル層およびボンディングパッド層を含み、該コンタクトメタル層がCr/A1合金であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子用の負極。

【請求項15】

窒化ガリウム系化合物半導体発光素子がフリップチップ型であることを特徴とする請求
項14に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子用の負極。

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体発光素子およびその負極

【技術分野】

【0001】

本発明は窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関し、特に優れた特性および生産性を有する負極を具備したフリップチップ型窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x + y \leq 1$) で表わされる窒化ガリウム系化合物半導体が紫外光領域から青色あるいは緑色発光ダイオード(LED)の材料として注目されている。このような材料の化合物半導体を使うことによって、これまで困難であった発光強度の高い紫外光、青色、緑色等の発光が可能となった。このような窒化ガリウム系化合物半導体は、一般に絶縁性基板であるサファイア基板上に成長させるため、GaAs系の発光素子のように基板の裏面に電極を設けることができない。このため結晶成長した半導体層側に負極と正極の両方を形成することが必要である。

【0003】

特に、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体素子の場合は、サファイア基板が発光波長に対して透光性を有するため、電極面を下側にしてマウントし、サファイア基板側から光を取り出す構造のフリップチップ型が注目されている。

【0004】

図1はこのような型の発光素子の一般的な構造例を示す概略図である。すなわち、発光素子は、基板1にバッファ層2、n型半導体層3、発光層4およびp型半導体層5が結晶成長されて、発光層4およびp型半導体層5の一部がエッチング除去されてn型半導体層3が露出されており、p型半導体層5上に正極10、n型半導体層3上に負極20が形成されている。このような発光素子は、例えばリードフレームに電極形成面を向けて装着され、次いでボンディングされる。

【0005】

従って、フリップチップ型発光素子の場合、装着時に負極に数百℃の加熱がかかる。このため、フリップチップ型発光素子の負極は加熱による特性の劣化を抑制できることが要求される。

【0006】

窒化ガリウム系化合物半導体と良好なオーミック接触を得る負極として、Au、Pt、Mo、Ti、InおよびGaから選択された少なくとも一種の金属とCrとの合金をn型窒化ガリウム系化合物半導体層に蒸着した負極が知られている（例えば特許文献1参照）。しかし、この負極は加熱によって特性劣化を来たす。また、n型窒化ガリウム系化合物半導体層の上に、V、Nb、ZrおよびCrよりなる群から選ばれる少なくとも一種の金属またはこの金属を含む合金からなる下地層と該下地層上の他の金属からなる主電極層を蒸着により形成し、熱処理した負極が知られている（例えば特許文献2参照）。しかし、この方法では電極形成後に熱処理工程を必要とし、生産性に劣る。

【0007】

【特許文献1】特開平6-275868号公報

【特許文献2】特開平10-112555号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層と良好なオーミック接触を得ることができ、且つ、加熱による特性劣化に耐性を有する生産性に優れた負極を提供することである。また、このような負極を具備する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供することも本発明の目的である。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は下記の発明を提供する。

(1) 基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型半導体層、発光層およびp型半導体層をこの順序で含み、負極および正極がそれぞれn型半導体層およびp型半導体層に設けられている発光素子において、該負極が少なくともn型半導体層と接するコンタクトメタル層およびボンディングパッド層を含み、該コンタクトメタル層がCr/A1合金であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0010】

(2) Cr/A1合金中のCrの比率が10～90質量%であることを特徴とする上記(1)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0011】

(3) Cr/A1合金中のCrの比率が20～80質量%であることを特徴とする上記(2)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0012】

(4) Cr/A1合金中のCrの比率が40～60質量%であることを特徴とする上記(3)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0013】

(5) コンタクトメタル層の厚さが1～500nmであることを特徴とする上記(1)～(4)のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0014】

(6) コンタクトメタル層の厚さが10nm以上であることを特徴とする上記(5)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0015】

(7) ボンディングパッド層がAu、Al、NiおよびCuからなる群から選ばれた金属または該金属を含んだ合金であることを特徴とする上記(1)～(6)のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0016】

(8) ボンディングパッド層の厚さが100～1000nmであることを特徴とする上記(1)～(7)のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0017】

(9) ボンディングパッド層の厚さが200～500nmであることを特徴とする上記(8)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0018】

(10) コンタクトメタル層とボンディングパッド層の間にTiからなる接着層が設けられていることを特徴とする上記(1)～(9)のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0019】

(11) 接着層の厚さが1～100nmであることを特徴とする上記(10)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0020】

(12) 接着層の厚さが10nm以上であることを特徴とする上記(11)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0021】

(13) 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子がフリップチップ型であることを特徴とする上記(1)～(12)のいずれか一項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0022】

(14) 窒化ガリウム系化合物半導体素子用の負極であって、少なくともn型半導体層と接するコンタクトメタル層およびボンディングパッド層を含み、該コンタクトメタル層がCr/A1合金であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子用の負極。

【0023】

(15) 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子がフリップチップ型であることを特徴とする上記(14)項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子用の負極。

【発明の効果】

【0024】

Cr/A1合金をコンタクトメタル層とする本発明の負極は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層と良好なオーミック接触を得ることができ、且つ、加熱により特性劣化を引き起こすことがない。また、本発明の負極とn型窒化ガリウム系化合物半導体層との良好なオーミック接触はアニーリング処理なしに達成されるので、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は生産性に優れる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

本発明における基板上に積層される窒化ガリウム系化合物半導体としては、図1に示したような、基板1にバッファ層2、n型半導体層3、発光層4およびp型半導体層5が結晶成長されているものなら何ら制限無く用いることができる。基板にはサファイアおよびSiC等従来公知のものが何ら制限なく用いられ、窒化ガリウム系化合物半導体には一般式 $A1_xG a_yI n_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x + y \leq 1$) で表わされる窒化ガリウム系化合物半導体が何ら制限なく用いられる。

【0026】

その一例を説明すると、図2に示したような、サファイア基板1上にA1N層からなるバッファ層2を積層し、その上にn型GaN層からなるコンタクト層3a、n型GaN層からなる下部クラッド層3b、InGaN層からなる発光層4、p型AlGaN層からなる上部クラッド層5b、およびp型GaN層からなるコンタクト層5aを順次積層したものを用いることができる。コンタクト層5a上に設ける正極10は、例えばA1のような従来公知の組成および構造の正極を何ら制限なく用いることができる。

【0027】

このような窒化ガリウム系化合物半導体のコンタクト層5a、上部クラッド層5b、発光層4、および下部クラッド層3bの一部をエッチングにより除去してコンタクト層3a上に負極20を設ける。

【0028】

本発明において、負極は少なくともn型半導体層とオーミック接触を形成するコンタクトメタル層および回路基板またはリードフレーム等と電気接続するためのポンディングパッド層を含み、コンタクトメタル層がCr/A1合金からなることを特徴とする。コンタクトメタル層にCr/A1合金を用いることによって、加熱による特性の劣化を抑制できる。さらに低接触抵抗と生産性を同時に満たす負極が得られる。

【0029】

コンタクトメタル層の厚さは1nm以上が好ましい。とくに5nm以上とすると低抵抗が得られるため望ましい。さらに10nm以上とすると安定した低抵抗が得られるため、より望ましい。厚すぎても生産性が悪化するので、500nm以下が好ましい。さらに好ましくは200nm以下である。

【0030】

Cr/A1合金のCr含有率は10~90質量%が好ましい。特に発光素子の加熱による特性劣化を抑制するためにはCrの含有率は20~80質量%が好ましい。さらに安定的に特性劣化を抑制するためには40~60質量%が好ましい。また、A1の含有率は、90~10質量%が好ましく、さらに好ましくは80~20質量%であり、特に好ましくは60~40質量%である。さらに、10質量%以下程度の少量であれば、CrおよびA1以外の他の金属を含有していてもよい。含有させる他の金属としては、例えばV、Nb、MoおよびW等がある。

【0031】

コンタクトメタル層とn型GaN半導体層との接触抵抗が良好であるためにはn型GaN半導体層表面の自然酸化膜の除去状況が大きく影響する。GaN半導体層の表面は大気

中で酸化され自然酸化膜が形成される。一旦エッチング等により酸化膜を除去したとしても電極形成までの間に大気に暴露されれば再び表面が酸化される。GaNが酸化された膜は絶縁体であるので、GaN表面全体が酸化膜で覆われていれば電極/GaN界面の接触抵抗が高くなる。従って、コンタクトメタル層を形成する前にn型半導体層表面の酸化膜を除去しておくことは重要である。

【0032】

ボンディングパッド層はAu、Al、NiおよびCuからなる群から選ばれた金属または該金属を含んだ合金で形成することが、バンプとの密着性が良いので好ましい。ボンディングパッドの厚さは100~1000nmが生産性に優れるので好ましい。さらに好ましくは200~800nmである。特に好ましくは200~500nmである。

【0033】

コンタクトメタル層とボンディングパッド層との間に両層の接着性を改良するために、Tiからなる接着層を介在させることが好ましい。接着層を設ける場合、厚さは1~100nmが好ましい。1nm以下では十分な接着効果が得られない。100nm以上すると発光素子を加熱した場合にTi膜が酸化され、電気特性が悪化する恐れがある。5nm以上とすると安定した接着効果が得られるので、さらに好ましい。特に好ましくは10nm以上である。

【0034】

負極を構成する各層、即ち、コンタクトメタル層、ボンディングパッド層および接着層の形成方法は、スパッタリング法および蒸着法等、従来公知の方法を何ら制限なく用いることができる。また、各層を全て同じ方法で形成してもよいし、それぞれ異なった方法で形成してもよい。しかし、全ての層を同じ方法で形成することが、工程が簡略され好ましい。

【実施例】

【0035】

以下に、実施例および比較例により本発明をさらに詳細に説明する。表1に本実施例および比較例で用いた負極材料および負極成膜直後と加熱テスト後の評価結果を示した。しかし、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではない。

【0036】

図2は本実施例で製造した窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の概略図である。

用いた窒化ガリウム系化合物半導体は、サファイア基板1上にAlN層からなるバッファ層2を積層し、その上にn型GaN層からなるコンタクト層3a、n型GaN層からなる下部クラッド層3b、InGaN層からなる発光層4、p型AlGaN層からなる上部クラッド層5b、およびp型GaN層からなるコンタクト層5aを順次積層したものである。コンタクト層3aはSiを $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaN層であり、下部クラッド層3bはSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaN層であり、発光層4の構造は単一量子井戸構造で、InGaNの組成はIn_{0.95}Ga_{0.05}Nである。上部クラッド層5bはMgを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたp型のAlGaNでその組成はAl_{0.25}Ga_{0.75}Nである。コンタクト層5aはMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたp型のGaN層である。これらの層の積層は、MOCVD法により、当該技術分野においてよく知られた通常の条件で行なった。

【0037】

この窒化ガリウム系化合物半導体に以下の手順で正極および負極を設けてフリップチップ型窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を作製した。

【0038】

まず、コンタクト層5a表面の酸化膜を除去する目的で沸騰した濃HCl中でこの窒化ガリウム系化合物半導体素子を10分間処理した。

【0039】

次いで、正極としてAlをコンタクト層5a上に形成した。形成手順は以下の通りである。レジストを全面に一様に塗布した後、公知のリソグラフィー技術により正極形成領域

のレジストを除去した。バッファードフッ酸（BHF）に室温で1分間浸漬した後、真空蒸着装置で正極を成膜した。基板を真空蒸着装置内にセットして、圧力 4×10^{-4} Pa以下でAlをエレクトロンビーム法により膜厚が100nmとなるように成膜した。

蒸着装置内より取り出した後、リフトオフ技術を用いて正極領域以外の金属膜をレジストと共に除去した。

【0040】

次に、負極をコンタクト層3a上に形成した。形成手順は以下のとおりである。

まず、エッチングマスクを正極上に形成した。形成手順は以下の通りである。レジストを全面に一様に塗布した後、公知リソグラフィー技術を用いて、正極領域より一回り大きい領域からレジストを除去した。真空蒸着装置内にセットして、圧力 4×10^{-4} Pa以下でNiおよびTiをエレクトロンビーム法により膜厚がそれぞれ約50nmおよび300nmとなるように積層した。その後リフトオフ技術により、正極領域以外の金属膜をレジストとともに除去した。このエッチングマスクは、正極を反応性イオンドライエッチングのプラズマダメージから保護するための層である。

【0041】

次いで、コンタクト層3aを露出させ、その上に負極を形成した。形成手順は以下の通りである。反応性イオンドライエッティングにて、コンタクト層3aが露出するまでエッチングを施した後、ドライエッティング装置より取り出し、上記エッチングマスクを硝酸およびフッ酸により除去した。

【0042】

次に、レジストを全面に一様に塗布した後、公知リソグラフィー技術を用いて、露出されたコンタクト層3a領域からレジストを除去した後、上述した蒸着法によりCr₂₀Al₈₀からなるコンタクトメタル層、Tiからなる接着層およびAuからなるボンディングパッド層をそれぞれ100nm、20nmおよび300nmの厚さで形成した。その後、負極部以外の金属膜をレジストと共に除去して、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を作製した。

【0043】

さらに、表1に示した材料のコンタクトメタル層、接着層およびボンディングパッド層を用いて上記と同様に窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を作製した。得られた発光素子の接触比抵抗を円形TLM法により測定し、その結果を表1に併せて示した。

【0044】

【表1】

表1

	コンタクト メタル層	接着層	ボンデ ィング パッド層	成膜後		加熱後	
				特性	接触比抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}^{-2}$	特性	接触比抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}^{-2}$
1	Cr ₂₀ Al ₈₀	Ti	Au	オーミック	4×10^{-5}	オーミック	4×10^{-5}
2	Cr ₈₀ Al ₂₀	Ti	Au	オーミック	4×10^{-5}	オーミック	4×10^{-5}
3	Cr ₅₀ Al ₅₀	Ti	Au	オーミック	3×10^{-5}	オーミック	3×10^{-5}
4	Cr	Ti	Au	オーミック	3×10^{-5}	ショットキー	
5	Cr	-	Au	オーミック	3×10^{-5}	ショットキー	
6	Cr	-	Al	オーミック	4×10^{-5}	ショットキー	
7	Al	Ti	Au	オーミック	1×10^{-5}	オーミック	8×10^{-5}
8	Cr ₆₀ Ti ₂₀	Ti	Au	オーミック	9×10^{-5}	ショットキー	
9	Cr ₈₀ V ₂₀	Ti	Au	オーミック	1×10^{-4}	ショットキー	
10	Cr ₅₀ Pt ₅₀	Ti	Au	ショットキー			

【0045】

なお、加熱テストはRTA炉により、大気中で300℃、1分間加熱した。

コンタクトメタル層にCr/AI合金を用いると、加熱テスト後もオーミック特性が得られ、抵抗値も悪化しない。Crの比率が20%となってもこの特性が維持される。しかし、コンタクトメタル層としてCrを用いると、成膜後ではオーミック特性が得られるが、加熱テスト後ではショットキーとなり、抵抗値の著しい悪化が見られる。また、コンタクトメタル層としてAlを用いると、加熱テスト後もオーミック特性が得られるが、抵抗値は悪化する。CrとAl以外の金属との合金、例えばTiおよびVとの合金では成膜後にオーミック特性が得られるが、加熱テスト後はショットキーとなり、抵抗値の著しい悪化が見られる。

【産業上の利用可能性】

【0046】

本発明によって提供されるフリップチップ型窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、発光ダイオードおよびランプ等の材料として有用である。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】従来のフリップチップ型化合物半導体発光素子の一般的な構造を示す概略図である。

【図2】本発明のフリップチップ型窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の一例を示す概略図である。

【符号の説明】

【0048】

- 1 … 基板
- 2 … バッファ層
- 3 … n型半導体層
- 4 … 発光層
- 5 … p型半導体層
- 10 … 正極
- 20 … 負極

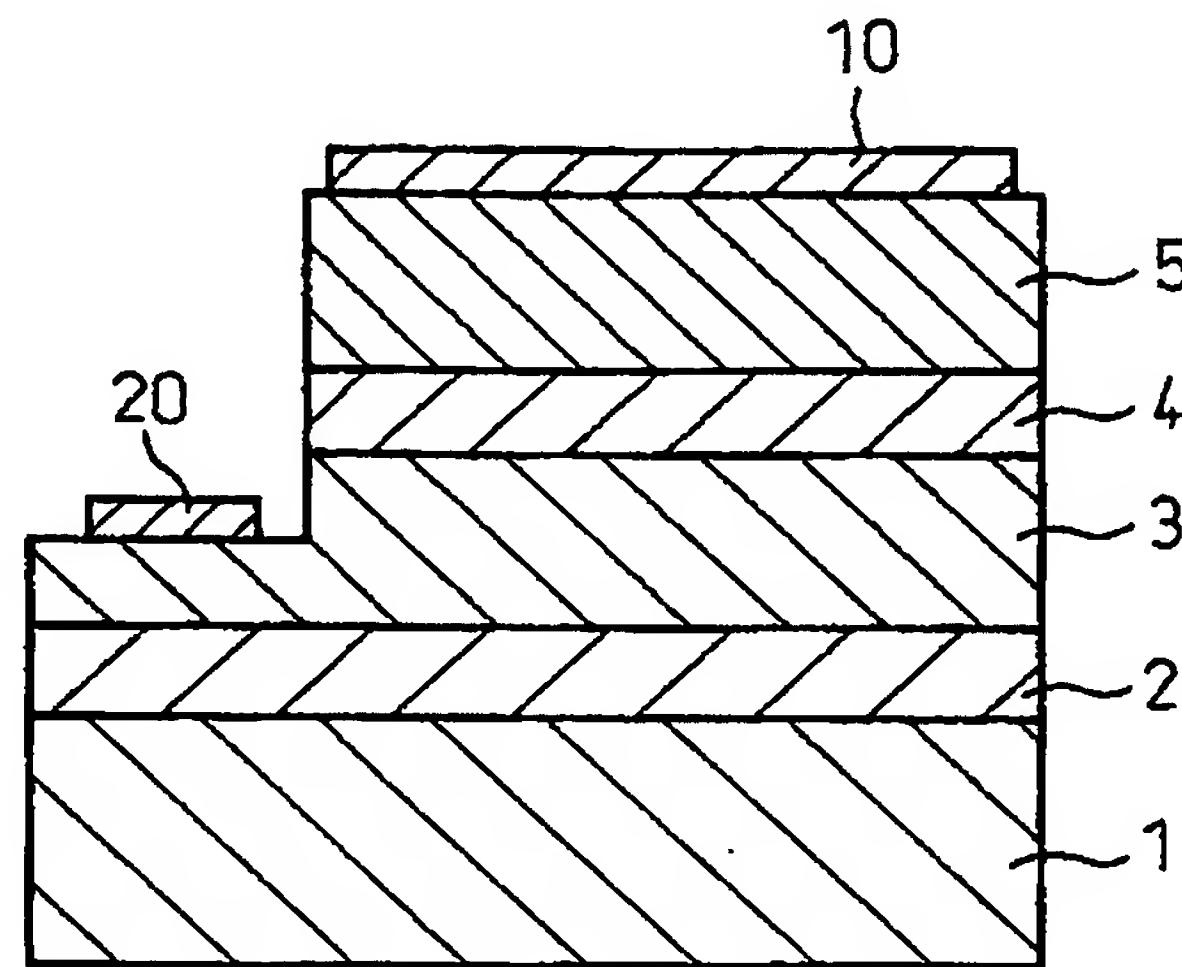
21…コンタクトメタル層

22…接着層

23…ボンディングパッド層

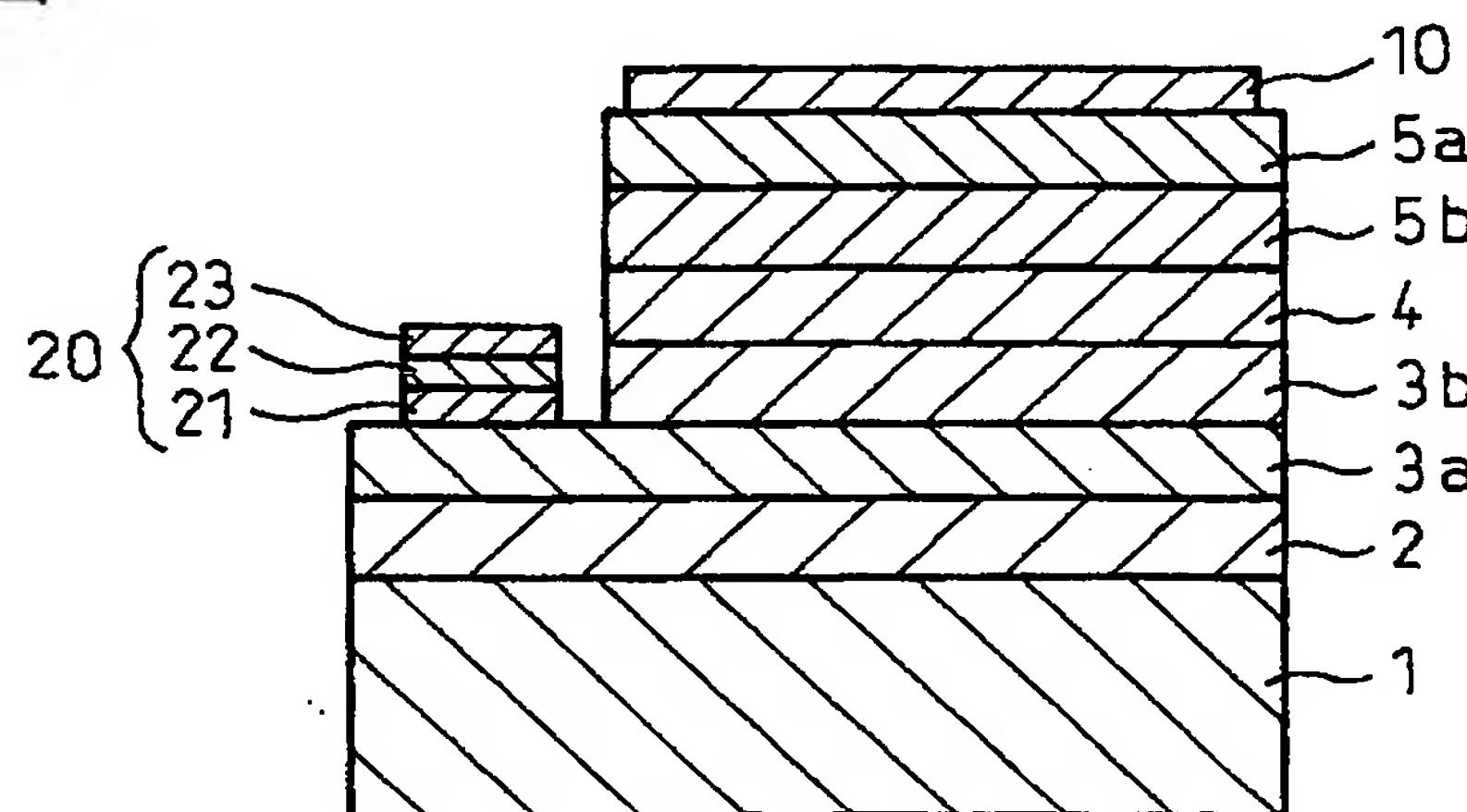
【書類名】 図面
【図1】

図1



【図2】

図2



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層と良好なオーム接觸を得ることができ、且つ、加熱による特性劣化に耐性を有し、生産性に優れた負極を備えた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供すること。

【解決手段】 基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型半導体層、発光層およびp型半導体層をこの順序で含み、負極および正極がそれぞれn型半導体層およびp型半導体層に設けられている発光素子において、該負極が少なくともn型半導体層と接するコンタクトメタル層およびボンディングパッド層を含み、該コンタクトメタル層がCr/Ai合金であることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【選択図】 図2

特願 2003-419336

出願人履歴情報

識別番号 [000002004]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都港区芝大門1丁目13番9号
氏名 昭和電工株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning these documents will not correct the image
problems checked, please do not report these problems to
the IFW Image Problem Mailbox.**